Verfahren, Vorrichtung und Verwendung der Vorrichtung zur quantitativen Bestimmung der Konzentration oder Partikelgrößen einer Komponente eines heterogenen Stoffgemisches

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur quantitativen Bestimmung von Anzahl und Größe von in einem längs eines Strömungskanals fließenden Medium enthaltenen partikulären Komponenten, bei dem Ultraschallwellen in das fließende Medium einkoppeln, die zumindest teilweise an den partikulären Komponenten reflektieren und deren reflektierte Ultraschallwellenanteile in Form von Ultraschallzeitsignalen detektiert werden, die der quantitativen Bestimmung zugrunde gelegt werden.

Stand der Technik

Unter anderem in der metallverarbeitenden und chemischen Industrie besteht häufig die Aufgabe insbesondere heterogene Stoffgemische wie Suspensionen quantitativ zu qualifizieren. Beispiele sind Metallschmelzen, die neben dem Metall oder Mischungen von Metallen Verunreinigungen oder erwünschte bzw. unerwünschte weitere Komponenten enthalten, zum Beispiel Partikel in Metallschmelzen bestehend aus Oxiden, Chloriden, Karbiden, Nitriden, Boriden und/oder intermetallischen Phasen. In der chemischen Industrie treten beispielsweise bei der Herstellung von Polymeren während der Polymerisation heterogene Stoffgemische auf. In beiden Beispielen ist es wünschenswert genaue quantitative Aussagen zu den Komponenten eines Stoffgemisches zu treffen, d.h. Partikelanzahl, Partikelkonzentration und/oder Partikelgrößen zu bestimmen, um Produktionsprozesse zu steuern, zu regeln oder zu überwachen.

Im Bereich des ultraschallbasierten Partikelnachweises in beispielsweise Aluminiumschmelze ist das sogenannte MetalVision-Verfahren aus Kurban M., Sommerville I.D., Mountford N.D.G., Montford P.H., An ultrasonic sensor for the Continuous Online Monitoring of the Cleanliness of Liquid Aluminium, Light Metals 2005, TMS, 945-949 bekannt, welches im Bereich des Aluminium-Strangguss verwendet wird. Bei diesem Verfahren wird Ultraschall über parallel angeordnete Stahlwellenleiter in die flüssige Aluminiumschmelze eingekoppelt. Nachteilig ist die mangelnde Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

Aus den Druckschriften EP 1 194 772 B1 bzw. DE 600 01 951 T2 sind ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur individuellen Visualisierung, Größenmessung und Zählung von suspendierten Einschlüssen in einer in einem Gefäß befindlichen Metallschmelze mittels Ultraschall zu entnehmen. Mit wenigstens einem Ultraschallwandler werden Ultraschallwellen in Form einzelner sogenannter Ultraschallschüsse erzeugt und vermittels eines Wellenleiters in die zu untersuchende Metallschmelze eingekoppelt, in der sie an in der Metallschmelze enthaltenden Einschlüssen teilweise reflektiert werden. Die reflektierten Ultraschallwellen werden mittels eines Ultraschallwellendetektors detektiert und zu Zwecken ihrer Zählung und Vermessung sowie Visualisierung mittels einer Bildanalyse ausgewertet. Der Bildanalyse sowie der quantitativen Vermessung der aus den detektierten Ultraschallwellen erhaltenen Echosignalen wird eine Eichkurve zugrunde gelegt, die im Rahmen eines Eichschrittes gewonnen wurde, bei dem wenigstens ein Eichreflektor bekannter stabiler Größe zum Einsatz kommt. Der Eichreflektor wird hierzu in die Metallschmelze im Bereich des sogenannten Brennfleckes positioniert, in dem die Ultraschallwellen mit der Metallschmelze wechselwirken und aus dem reflektierte Ultraschallwellenanteile austreten und von wenigstens einem Ultraschalldetektor erfassbar sind. Die Eichkurve stellt einen funktionellen Zusammenhang zwischen den Amplituden detektierter Echosignale und den Durchmessern der Hindernisse, an denen die Echosignale reflektiert worden sind, her.

Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung sowie deren Verwendung bereitzustellen, mit dem Ziel eine Partikelanzahl, Partikelkonzentration und/oder Partikelgrößen in Stoffgemischen, Flüssigkeiten, Suspensionen insbesondere Schmelzen mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit zu bestimmen. Ferner gilt es den verfahrens- und vorrichtungstechnischen Aufwand zu reduzieren.

Die gestellte technische Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1, eine Vorrichtung nach Anspruch 10 und eine Verwendung der Vorrichtung nach Anspruch 15 gelöst. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den zusätzlichen Merkmalen der abhängigen Ansprüche.

Das lösungsgemäße Verfahren gemäß den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruches 1 erlaubt eine unmittelbare Einschallung bzw. Einkopplung der Ultraschallwellen in das fließende Medium, so dass zumindest ein Teil der eingekoppelten Ultraschallwellen einer Reflexion an einem das fließende Medium begrenzenden Wandbereich des Strömungskanals oder an einem innerhalb des Strömungskanals eingebrachten Reflektors unterliegen, durch die ein dem Wandbereich oder dem Reflektor zuordenbares Echo-Ultraschallzeitsignal erzeugt wird. Die Einkopplung der Ultraschallwellen erfolgt vorzugsweise in eine Metallschmelze, innerhalb der es gilt partikuläre Komponenten quantitativ zu erfassen. Auch ist es möglich beliebige heterogene flüssige Stoffgemische, wie Suspensionen, mittels Ultraschallwellen-Einkopplung zu Zwecken einer quantifizierenden Bestimmung von partikulären Komponenten zu untersuchen.

Das Einkoppeln der Ultraschallwellen in das fließende Medium erfolgt vorzugsweise mit einer quer zur Strömungsrichtung des fließenden Mediums orientierten Hauptausbreitungsrichtung, wobei die sich längs der

Hauptausbreitungsrichtung ausbreitenden Ultraschallwellen vorzugsweise orthogonal auf den Strömungskanal begrenzenden Wandbereich auftreffen und an diesem reflektiert werden. Die Detektion der längs der gesamten Ultraschalllaufstrecke innerhalb des fließenden Mediums reflektierten Ultraschallwellenanteile einschließlich der an dem in Hauptausbreitungsrichtung rückwärtig begrenzenden Wandbereich reflektierten Ultraschallwellen erfolgt vorzugsweise am Bereich oder exakt am Ort der Ultraschallwelleneinkopplung. Auf diese Weise werden Ultraschallzeitsignale längs des gesamten Weges zwischen Einkoppelort und rückwärtiger Begrenzungswand erhalten. Die an der Begrenzungswand hervorgerufene Ultraschallwellenreflexion zeichnet sich als charakteristisches Echo-Ultraschallzeitsignal aus, das für die Ermittlung wenigstens einer Amplitudenschwellwertfunktion verwendet wird, die zu jedem detektierten Ultraschallzeitsignal einen Amplitudenschwellwert festlegt.

Bei Einsatz bspw. von zwei oder mehr Wellenleiter, von denen wenigstens ein zweiter Wellenleiter als Empfänger dient, kann der Ort der Detektion vom Ort der Einkopplung abweichen.

Der Einsatz eines zusätzlich in den Strömungskanal eingebrachten Reflektors, der über eine glatte, vorzugsweise ebene Reflektoroberfläche verfügt, wird in jenen Fällen vorgenommen, in denen der Abstand zwischen der Ultraschallwelleneinkopplung und dem den Strömungskanal begrenzenden Wandbereich zu groß ist und/oder der Wandbereich, bspw. durch Ablagerungen, ungeeignet ist Ultraschallwellen möglichst verlustarm zu reflektieren.

Vorzugsweise wird zur Ermittlung der wenigstens einen Amplitudenschwellwertfunktion wenigstens eine der nachfolgenden physikalischen Eigenschaften berücksichtigt:

a) die Ultraschallfeldverteilung innerhalb des fließenden Medium, d.h. die räumliche Ausdehnung und Intensität der sich richtungsabhängig innerhalb des fließenden Mediums ausbereitenden Ultraschallwellen, bspw. in Form von Haupt- und Nebenkeulen,
b) die akustische Dämpfung der Ultraschallwellen im fließenden Medium, d.h. die medium-spezifische und Medium bedingte Abnahme der Ultraschallwellenamplituden mit fortschreitender Ausbreitung innerhalb des fließenden Mediums,
c) die Einkoppelbedingungen der Ultraschallwellen in das fließende Medium, d.h. die Güte, mit der die initiale Ultraschallwellenenergie, mit der Ultraschallwellen generiert werden, bspw. mittels eines piezoelektrischen Ultraschallwandlers, im Rahmen der sich innerhalb des fließenden Mediums ausbreitenden Ultraschallwellen transformiert wird. So äußern sich verändernde Einkoppelbedingungen unmittelbar in einem sich verändernden Echo-Ultraschallzeitsignal, dessen unmittelbarer Einfluss auf die Amplitudenschwellwertfunktion Auswirkung auf die Amplitudenschwellwerte sämtlicher Ultraschallzeitsignale besitzt. In diesem Fall werden die Amplitudenschwellwertfunktionen für alle zeitlich folgenden Ultraschallzeitsignale korrigiert. Die zeitlich zurückliegenden Amplitudenschwellwerte müssen jedoch nicht korrigiert werden.

Zu Zwecken der quantitativen Erfassung und Auswertung von in dem fließenden Medium enthaltenen partikulären Komponenten werden in einem weiteren Schritt sämtliche den einzelnen erfassten Ultraschallzeitsignalen zugeordnete Amplitudenwerte erfasst, die jeweils größer sind als ein zu den jeweiligen Ultraschallzeitsignalen festgelegter Amplitudenschwellwert.

In vorteilhafter Weise werden nicht alle Ultraschallzeitsignale, die von Reflexionsereignissen innerhalb des fließenden Mediums zwischen dem Ort der Einkopplung und an dem rückwärtigen Wandbereich herrühren, zur weiteren Auswertung herangezogen. Vielmehr wird ein Auswertezeitbereich

festgelegt, der einem räumlichen Messbereich innerhalb des fließenden Mediums längs der Hauptausbreitungsrichtung entspricht und der beliebig zwischen dem Ort des Einkoppelns und dem den Strömungskanal rückwärtig begrenzenden Wandbereich liegt. Je nach Untersuchungsvorgaben können der Auswertezeitbereich und das damit verbundene, auswertbare Messvolumen geeignet dimensioniert werden.

Die für die Auswertung der Ultraschallzeitsignale innerhalb eines vorgebbaren Auswertezeitbereiches erforderliche Amplitudenschwellwertfunktion ist im einfachsten Fall eine horizontale Gerade, die in geeigneter Weise zum numerischen Vergleich mit den detektierten Ultraschallzeitsignalen überlagert wird.
Je nach Anforderungen an die weitere Auswertung der Ultraschallzeitsignale können die vorstehend genannten Aspekte, wie Ultraschallfeldverteilung, Dämpfung, Einkoppelbedingungen o.ä. in der Amplitudenschwellwertfunktion entsprechend berücksichtigt werden.

Gleichfalls kann der Verlauf der Amplitudenschwellwertfunktion einem logarithmischen oder exponentiellen Verlauf folgen. Die akustische Dämpfung des fließenden Mediums folgt bspw. einer Exponentialfunktion mit negativem Exponenten. Durch Multiplikation der Amplitudenschwellwertfunktion mit einer Exponentialfunktion mit positivem Exponenten, lässt sich auf diese Weise der Dämpfungseinfluss korrigieren.

Alternativ oder in Kombination mit der vorstehenden Dämpfungskorrektur kann der Verlauf der Amplitudenschwellwertfunktion linear mit positiver oder negativer Steigung gewählt sein. Z.B. nimmt der Schalldruck ausgehend von einem ebenen, kreisförmigen Schwinger mit zunehmenden Abstand z zum Ort der Einkopplung der Ultraschallwellen in ein Medium, d.h. im sogenannten Fernfeld, näherungsweise mit 1/z ab. Durch Multiplikation der

Amplitudenschwellwertfunktion mit einer Funktion mit positiver Steigung kann demnach dieser Einfluss korrigiert werden.

Auch ist es möglich die Einkopplung der Ultraschallwellen in das fließende Medium fokussiert vorzunehmen, d.h. die Ultraschallwellen werden in einen längs der Hauptausbreitungsrichtung befindlichen Fokuspunkt fokussiert, der in Hauptausbreitungsrichtung stets vor dem den Strömungskanal begrenzenden Wandbereich liegt.

Die Lage des Fokuspunktes relativ zum Auswertezeitbereich, bzw. zum festgelegten Messvolumen, kann grundsätzlich beliebig, d.h. entweder innerhalb oder außerhalb des Auswertezeitbereiches gewählt werden.

Liegt der Ultraschallfokus hingegen innerhalb des Auswertezeitbereichs ist es vorteilhaft, am Fokuspunkt den niedrigsten Amplitudenschwellwert zu definieren, der beidseitig mit zunehmendem Abstand zum Fokuspunkt zunimmt. Liegt hingegen der Ultraschallfokus außerhalb des Auswertezeitbereichs ist es vorteilehaft, dass die Amplitudenschwellfunktion eine positive oder negative Steigung besitzt.

Grundsätzlich kann der Verlauf der Amplitudenschwellwertfunktion durch Berücksichtigung mehrere Einflussgrößen einen sehr komplexen Funktionsverlauf annehmen. Auch bietet es sich an mehrere unterschiedliche Amplitudenschwellwertfunktionen anzuwenden, um bspw. Partikelgrößen-verteilungen entsprechend ermitteln zu können. Eine praktikable Anzahl unterschiedlicher Amplitudenschwellwertfunktionen liegt in der Regel im Bereich von 1 bis 10.

Nach Erfassung aller innerhalb des Auswertezeitbereiches jeweils betragsmäßig über der Amplitudenschwellwertfunktion liegenden Amplitudenwerten gilt es schließlich diesen Amplitudenwerten Werte

zuzuordnen, die die Größe und/oder Anzahl der erfassten partikulären Komponenten innerhalb des fließenden Mediums beschreiben.

So lässt sich die Anzahl der erfassten partikulären Komponenten auf der Grundlage der Anzahl oder statistischen Häufigkeit ermitteln, mit der die pro Ultraschallzeitsignal erfassten Amplitudenwerte über einem jeweils durch die Amplitudenschwellwertfunktion für ein Ultraschallzeitsignal festgelegten Amplitudenschwellwert liegen.

Hingegen basiert die Größeninformation über die partikulären Komponenten auf dem numerischen Betrag des Amplitudenwertes des Ultraschallzeitsignals, d.h. die Peakhöhe bzw. Amplitudengröße eines Ultraschallzeitsignals beschreibt die jeweilige Partikelgröße. Zu beachten ist dabei, dass die Peakhöhen der Ultraschallzeitsignale ebenfalls von den Ultraschalleinkoppelbedingungen abhängen, ein Umstand den es durch eine dynamische Anpassung der Amplitudenschwellwertfunktion zu berücksichtigen gilt.

Auf Basis der so gewonnenen Erkenntnisse können Partikelanzahl und relative Partikelgrößenverteilung der in dem fließenden Medium erfassten partikulären Komponenten bestimmt werden.

Gilt es die Partikelgrößen exakt in absoluten Werten anzugeben, so kann auf Referenztabellen, so genannten Lookup-Tabellen, zurückgegriffen werden. Gleichfalls ist es möglich Kalibrierungswerte oder Kalibrierungsfunktionen in getrennten Versuchsreihen zu ermitteln, indem Ultraschallzeitsignale erfasst werden, insbesondere deren Amplituden oder/und Signalformen, die durch Reflexion der Ultraschallwellen an einem bekannten Ultraschallreflektor gewonnen werden. Die so erhaltenen Kalibrierungswerte oder Kalibrierungsfunktionen können nachfolgend zur Ermittlung der wenigstens einen Amplitudenschwellwertfunktion zugrunde gelegt werden.

Ferner zeichnet sich eine Vorrichtung zur quantitativen Bestimmung von Anzahl und Größe von in einem längs eines Strömungskanals fließenden Medium enthaltenen partikulären Komponenten, gemäß den Merkmalen des Oberbegriffes des Anspruches 1 derart aus, dass zum Zwecke der Ultraschallwelleneinkopplung in das fließende Medium wenigstens ein mit einem Ultraschallwandler akustisch gekoppelter Wellenleiter zumindest abschnittsweise in das fließende Medium eintaucht, wobei der aus einem Wellenleitermaterial bestehende Wellenleiter wenigstens im Bereich, in dem der Wellenleiter in das fließende Medium eintaucht, mit einer äußeren Schicht umgeben ist, so dass die äußere Schicht zwischen dem sonstigen Wellenleitermaterial und dem fließenden Medium angeordnet ist, und die äußere Schicht eine vom sonstigen Wellenleitermaterial abweichende Stoffzusammensetzung besitzt.

Der Wellenleiter weist vorzugsweise ein einseitig stumpfes, spitzzulaufendes oder geometrisch bestimmt geformtes, zur Einkopplung von fokussierten Ultraschallwellen in das fließende Medium geeignetes Wellenleiterende auf. Dabei ist das Wellenleiterende zumindest abschnittweise von der äußeren Schicht umgeben, deren Stoffzusammensetzung in Abhängigkeit des fließenden Mediums derart gewählt ist, so dass sich die Stoffzusammensetzung in Kontakt mit dem fließenden Medium auflöst.

Die Stoffzusammensetzung der äußeren Schicht enthält wenigstens eine die Benetzung des fließenden Mediums an das Wellenleitermaterial hervorrufende und/oder unterstützende Substanz, die nicht mit dem fließenden Medium identisch ist. Vorzugsweise ist die wenigstens eine Substanz ein Schmelzsalz.

Um das Schmelzsalz im Bereich des Wellenleiterendes zumindest für den Einsatz in einer Metallschmelze robust anzubringen, wird es von einem im Messmedium schmelzenden bzw. sich lösendem Material umgeben, bspw. mittels einer Aluminiumfolie. Das am Wellenleiterende angebrachte

Schmelzsalz verdrängt mögliche Oxide an der Wellenleiteroberfläche und ermöglicht so den direkten Kontakt des Wellenleiters mit dem fließenden Medium, vorzugsweise in Form einer Aluminiumschmelze.

Weitere Einzelheiten sind der weiteren Beschreibung unter Bezugnahme auf die folgenden Ausführungsbeispiele zu entnehmen.

Kurze Beschreibung der Erfindung

Es zeigen:

Fig. 1	Vorrichtung zur Messung partikulärer Komponenten in einem fließenden Medium mittels eines Wellenleiters zur Einkopplung von Ultraschallwellen in das Medium,
Fig. 2	Vorrichtung gemäß Figur 1 mit zwei Wellenleiter zur Einkopplung von Ultraschallwellen in das Medium,
Fig. 3	Vorrichtung gemäß Figur 2 mit zwei Wellenleiter zur Einkopplung von fokussierten Ultraschallwellen in das Medium,
Fig. 4	Diagrammdarstellung von Ultraschallzeitsignalen mit überlagerter Amplitudenschwellwertfunktion und Auswertezeitbereich und
Fig. 5	Vorrichtung gemäß Figur 1 mit einem Wellenleiter mit einem Benetzungsschuh am Wellenleiterende.

Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

Unter Bezugnahme auf die im Weiteren beschriebenen Figuren wird eine Vorrichtung beschrieben, die es erlaubt die Konzentration bzw. Anzahl sowie die Größe von partikulären Komponenten in einem fließenden Medium 3 bspw. in Form von Stoffgemischen, Schmelzen, Metallschmelzen, wie Aluminiumschmelzen, oder Flüssigkeiten mit großer Genauigkeit zu messen.

Wie in Fig. 1 dargestellt, wird Ultraschall von einem Ultraschallwandler 1, der als Sender dient erzeugt und über einen Wellenleiter 2, einem Mittel zum Einkoppeln des Ultraschalls, in die zu untersuchende Flüssigkeit eingekoppelt. Es sei angenommen, dass das fließende Medium 3 das Gefäß 4 orthogonal zur Zeichenebene durchströmt. Wie in Fig. 1 dargestellt, kann der gleiche Ultraschallwandler 1 auch als Empfänger des Ultraschallfeldes aus dem fließenden Medium 3 dienen.

In Fig. 2 und Fig. 3 wird jeweils ein weiterer Ultraschallwandler 7 mit einem weiteren akustisch gekoppelten Wellenleiter 8 eingesetzt, wobei der Wellenleiter 8 den weiteren Ultraschallwandler 7 akustisch mit dem fließenden Medium 3 koppelt. Bei mehr als einem Ultraschallwandler sind diverse Betriebsmodi nutzbar, beispielsweise kann der Ultraschallwandler 1 als Sender und der Ultraschallwandler 7 als Empfänger dienen oder umgekehrt oder, beide Ultraschallwandler 1, 7 dienen als Sender und zeitversetzt als Empfänger. Die von mindestens einem Ultraschallwandler 1,7 empfangenen Ultraschallsignale werden durch die Messeinrichtung/ Auswertetechnik/ Auswerteeinrichtung 6 aufgezeichnet und ausgewertet. Die Auswerteeinrichtung 6 erfasst die Reflexionen bzw. Echos des Ultraschallfeldes aus dem fließenden Medium 3 sowie die Reflexion von einem optional in das fließende Medium 3 eingebrachten Ultraschallreflektor 5. Vorzugsweise dient ein in Ausbreitungsrichtung der Ultraschallwellen begrenzender Wandbereich 4a des Gefäßes 4, welches das Stoffgemisch mindestens teilweise umschließt, als Ultraschallreflektor 5. Das Echo des Ultraschallreflektors 5, 4a dient zur Kalibrierung der Auswertung der Echos aus dem fließenden Medium 3. Zur Auswertung der Echos aus dem fließenden Medium 3 kommt mindestens eine Amplitudenschwellwertfunktion zur Anwendung, die auf Basis des Echos des Ultraschallreflektors 5, 4a festgelegt wird.

Eine bevorzugte Vorrichtung besteht unter anderem aus dem mindestens einen Ultraschallwandler 1, den an den Ultraschallwandler 1 akustisch

gekoppelten Wellenleiter 2, einem Behälter 4 zur Aufnahme bzw. zum Durchströmen mit einer fließenden Medium 3, insbesondere Suspension, einem in dem Medium angeordneten Ultraschallreflektor 5 oder 4a, wobei der Wellenleiter 2 so in das Medium 3 hineinragt und so zum Ultraschallreflektor 5, 4a angeordnet ist, dass ein sich in dem Medium 3 ausbildendes Ultraschallfeld mindestens einen Fokus 13 aufweist, der räumlich zwischen dem Ultraschallreflektor 5, 4a, und dem ersten Wellenleiter 2 und/oder einem weiteren Wellenleiter 8 liegt.

Eine weitere bevorzugte Vorrichtung besteht unter anderem aus mindestens einer mit dem mindestens einen Ultraschallwandler 1 gekoppelten Auswerteeinrichtung 6, den an den Ultraschallwandler 1 akustisch gekoppelten Wellenleiter 2, einem Behälter 4, das von einem fließenden Medium 3, insbesondere in Form einer Suspension, durchströmt wird, wobei der Wellenleiter 2 in das Medium 3 hineinragt und eingerichtet ist, ein vom Ultraschallwandler 1 erzeugtes Ultraschallfeld in das Medium 3 einzukoppeln und Reflexionen des Ultraschallfeldes an Grenzflächen im fließenden Medium 3 insbesondere an Partikeln in dem Medium 3, in den Ultraschallwandler als Ultraschallzeitsignale einzukoppeln, wobei die Auswerteeinrichtung eingerichtet ist unter Nutzung einer Schwellwertfunktion Energiemaxima oder/und Leistungsmaxima im Empfangszeitsignal zu erfassen und zu zählen.

Eine weitere bevorzugte Vorrichtung besteht mindestens aus dem an den mindestens einen Ultraschallwandler 1 akustisch gekoppelten Wellenleiter 2, der in ein zu untersuchendes fließendes Medium, insbesondere Suspension hineinragt, wobei der Wellenleiter 2 mindestens teilweise eine äußere Schicht 10 mit einer vom sonstigen Wellenleitermaterial abweichende Stoffzusammensetzung aufweist und die äußere Schicht 10 zwischen dem sonstigen Wellenleitermaterial und dem fließenden Medium 3 angeordnet ist, siehe Figur 5.

Als Messvolumen wird der Raum bezeichnet, der durch das Ende des mindestens einen Wellenleiters 2 und durch den Ultraschallreflektor 5, 4a definiert wird.

Ein Fokus 13 des Ultraschallfeldes befindet sich vorzugsweise im Messvolumen.

Das vom Ultraschallreflektor 5, 4a verursachte Echo wird auch Rückwandecho genannt, die Begriffe sind austauschbar.

Der im Aufbau integrierte Ultraschallreflektor 5 erzeugt im Ultraschallsignal ein Rückwandecho nach Fig. 4. Dieses dient als Kalibrierung des Ultraschallsignals, da hierin die eingekoppelte Ultraschallenergie repräsentiert wird. Die Kalibrierung bezieht sich auf eine Aussage zur absoluten Partikelgröße, indem sie in die Festlegung der Amplitudenschwellwertfunktion einfließt. Auch kann das Rückwandecho zur Funktionsprüfung des Messsystems verwendet werden, da Einkoppelschwankungen des Ultraschalls von Wellenleitern in die Flüssigkeit nachgewiesen und hierdurch auch korrigiert werden können.

Der Ultraschallreflektor wird in Abhängigkeit von den eingesetzten Wellenleitern innerhalb des Messmediums positioniert. Hierbei sind vorzugsweise die folgenden Anordnungen möglich:

a) Werden die Wellenleiter unter einem Winkel zueinander angeordnet (Fig. 3) ist die höchste Ultraschallamplitude durch den Fokus 9, welcher sich aus dem Schnittpunkt der gedachten Verlängerung der beiden Wellenleiter ergibt, gegeben. Der Ultraschallreflektor wird in einem Abstand von dem Wellenleiter so angeordnet, dass der Fokus 9 zwischen dem Wellenleiter auf der einen Seite und dem Utraschallreflektor auf der anderen Seite liegt. Der Abstand des Fokus 9 vom Ultraschallreflektor liegt vorzugsweise im Bereich von 5 mm bis 80 mm.

Für den Fall, dass die Tiefe des Behälters 4 nur sehr klein ist, kann es vorkommen, dass der Fokus 9 weiter entfernt liegt als der Reflektor 5 bzw. die Behälterwand. Dieser Fall ist zwar nicht ideal, allerdings ist eine Messung trotzdem möglich

b) Sind die Wellenleiter 2, 8 parallel zueinander angeordnet (Fig. 2) oder wird mit einem einzelnen Wellenleiter 2 gearbeitet (Fig. 1), ist die Position des Ultraschallreflektors 5, 4a durch den Fokus 13 des Ultraschallfeldes gegeben. Dieser Fokus 13 ist abhängig von der Geometrie der Enden der Wellenleiter 2, 8, welche sich im fließenden Medium 3 befinden. Der Ultraschallreflektor 5 bzw. die Begrenzungswand 4a des Gefäßes wird vorzugsweise in einem Abstand größer oder gleich (13) angeordnet. Auch in den Fällen des Aufbaus nach Fig. 1 und/oder Fig. 2 liegt der Fokus 13 des Ultraschallfeldes in einem Raum der einerseits durch die Enden der Wellenleiter und anderseits durch den Ultraschallreflektor 5 bzw. der Begrenzungswand 4a des Gefäßes begrenzt ist.

Für den Fall, dass die Tiefe des Behälters 4 nur sehr klein ist, kann es vorkommen, dass der Fokus 9 weiter entfernt liegt als der Reflektor 5 bzw. die Behälterwand. Dieser Fall ist zwar nicht ideal, allerdings ist eine Messung trotzdem möglich.

c) Je nach Größe bzw. Tiefe des Gefäßes 4 kann der Fokus 13 in Ultraschallausbreitungsrichtung auch hinter dem Reflektor 5 bzw. hinter der Begrenzungswand 4a liegen, so bspw, auch außerhalb des Gefäßes 4.

Zum Vermessen einer Aluminiumschmelze als fließendes Medium 3 kann beispielsweise ein Aufbau nach Fig. 3 gewählt werden. Der Fokus 9 entspricht etwa einem Abstand von 50 mm zu den Enden der Wellenleiter 2, 8. Der Winkel zwischen den Wellenleitern 2,8 entspricht hierbei 8° bis 30°. Der Ultraschallreflektor 5 bzw. die Begrenzungswand 4a des Gefäßes besteht aus einem Warmarbeitsstahl. Hier sind insbesondere auch keramische Werkstoffe

bzw. alle hochschmelzenden, im fließenden Medium schlecht benetzenden Werkstoffe, gut geeignet wie beispielsweise SiAlON, Siliziumnitrid, Aluminiumoxid.

Die Wellenleiter 2,8 werden vorzugsweise so gewählt, dass eine ausreichende Benetzung zum fließenden Medium hergestellt wird. Die Aufbauten der Wellenleiter entsprechen beispielsweise denen nach Fig. 1, 2, 3, 5.

Für die Aluminiumschmelzen als Medium können Wellenleiter aus Titan (Grade 2) eingesetzt werden. Weitere geeignete Wellenleitermaterialien sind Siliziumnitrid, SiAlON, Stahl (Warmarbeitsstahl 1018 H13 (USA) oder X40 CrMoV 5-1 und lösungsgeglühter Stahl (1.4436)). Die Wellenleiter haben beispielsweise Längen von 600 mm, 500 mm, 400 mm oder 300 mm und Durchmesser von 8 mm, 9 mm. 10 mm, 11 mm, 12 mm, 13 mm oder 14 mm.

Die Frequenz des Ultraschallfeldes liegt vorzugsweise im Frequenzbereich 2 MHz bis 12 MHz. Beispielsweise für eine Aluminiumschmelze als Messmedium hat sich eine Ultraschallfrequenz von 6 MHz oder 10 MHz als geeignet erwiesen, wobei eine Ultraschallfrequenz von circa 10 MHz besonders bevorzugt ist.

Zur Bewertung der Partikelanzahl im fließenden Medium wird ein Auswertezeitbereich nach Fig. 4 vor dem Rückwandecho bzw. Ultraschallreflektorecho gewählt. Durch die Auswahl des Auswertezeitbereich lässt sich das Messvolumen individuell einstellen. Ein kleinerer Auswertezeitbereich entspricht einem kleineren Messvolumen.

Der Auswertezeitbereich ist hierbei stark an die Ultraschallfelder im Medium gekoppelt, da eine ausreichende Ultraschallenergie notwendig ist.

Für die Aluminiumschmelzen wird ein Auswertezeitbereich gewählt, der etwa 4 cm im Medium entspricht. Das Ende des Auswertezeitbereichs liegt knapp vor dem Rückwandecho (Fig. 4). Da durch diesen Zeitbereich das Messvolumen eingestellt werden kann ist prinzipiell auch ein deutlich kürzerer

aber, bei ausreichender Ultraschallenergie, auch deutlich längerer Zeitbereich möglich.

Vorzugsweise wird die Anzahl an Amplitudenwerten innerhalb des gewählten Zeitbereichs gezählt, welche eine bestimmte Amplitudenschwellwertfunktion überschreiten (siehe Fig. 4). Der Zählwert ist proportional zur Partikelkonzentration, sodass mit Hilfe einer Kalibrierungsfunktion aus dem Zählwert eine konkrete Partikelkonzentration berechnet werden kann.

Für eine Aluminiumschmelze sind so die relevanten und vom Messsystem erfassbaren Konzentrationsbereiche im Bereich von 100 Partikel bis 100.000 Partikel pro kg Aluminiumschmelze erfassbar.

Durch die Amplitudenschwellwertfunktion bzw. die Wahl von mehreren Amplitudenschwellwertfunktionen kann eine Aussage zur Partikelgröße bzw. zur Partikelgrößenverteilung getroffen werden, wobei die Rückwandechohöhe und -form zur Kalibrierung eingesetzt werden kann. Durch letzteres ist dann auch eine Aussage zur absoluten Partikelgröße bzw. Partikelgrößenverteilung möglich. Andernfalls erhält man eine qualitative Aussage. Die Amplitudenschwellwertfunktion kann auch mathematisch an das Rückwandecho gekoppelt werden um Einkoppelschwankungen vom Einkoppel- bzw. Empfangsmedium ins fließende Medium zu korrigieren.

Die Amplitudenschwellwertfunktion hat vorzugsweise einen konstanten zeitlichen Verlauf oder, um beispielsweise die akustische Dämpfung im Messmedium zu korrigieren, einen logarithmischen oder exponentiellen Verlauf. Die akustische Dämpfung folgt z.B. einer Exponentialfunktion mit negativem Exponenten. Durch Multiplikation mit einer Exponentialfunktion mit positivem Exponenten, lässt sich der Dämpfungseinfluss korrigieren.

Die Aufbringung eines Benetzungsschuhs (12), siehe Figur 5, ermöglicht die lokal steuerbare Benetzung des Wellenleiters mit dem Medium. Hierbei wird eine sich im fließenden Medium auflösende Hülle (11), in der sich eine die

Benetzung hervorrufende Substanz (10) befindet, am Ende des Wellenleiters 2 platziert. Nach Eintauchen in das Medium 3 löst sich der Benetzungsschuh (12) auf und die Benetzung hervorrufende Substanz (10) wird somit lokal freigesetzt. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Benetzung hervorrufende Substanz zu schmelzen und den Wellenleiter (2) (8) mit einem Ende in eine flüssige, die Benetzung hervorrufende Substanz (10) einzutauchen.

Als die eine Benetzung hervorrufende Substanz (10) kommen bevorzugt für eine Metallschmelze und insbesondere Aluminiumschmelze gängige Schmelzsalze zum Einsatz (Salz1: ungefähre Zusammensetzung: KCl (47,6 %), NaCl (45,7 %), SO4 (2,14 %), CaF2 (0,14 %); Salz 2: ungefähre Zusammensetzung: KCl (50 %), NaCl (50 %)).

Beispielsweise können die Salze in eine Hülle aus Aluminiumfolie eingefüllt werden, die als äußere Schicht (11) dient. Die Hülle wird anschließend über die Enden der Wellenleiter gestülpt (siehe Fig. 5) und löst sich in der Flüssigkeit/Metallschmelze auf.

Auch kann die Hülle aus einem Material bestehen, welches sich in der Flüssigkeit schmilzt oder löst.

Bezugszeichenliste

1	Ultraschallwandler
2	Wellenleiter
3	Flüssigkeit, insbesondere Suspension
4	Gefäß
4a	Begrenzungswand
5	Ultraschallreflektor
6	Auswerteeinrichtung
7	weiterer Ultraschallwandler
8	Wellenleiter
9	Fokus Ultraschallfeld
10	äußere Schicht
11	Hülle
12	Benetzungsschuh
13	Fokus Ultraschallfeld

Patentansprüche

1. Verfahren zur quantitativen Bestimmung von Anzahl und Größe von in einem längs eines Strömungskanals fließenden Medium enthaltenen partikulären Komponenten, bei dem Ultraschallwellen in das fließende Medium einkoppeln, die zumindest teilweise an den partikulären Komponenten reflektieren und deren reflektierte Ultraschallwellenanteile in Form von Ultraschallzeitsignalen detektiert werden, die der quantitativen Bestimmung zugrunde gelegt werden,
gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte:
- Einkoppeln der Ultraschallwellen in das fließende Medium derart, dass zumindest ein Teil der eingekoppelten Ultraschallwellen einer Reflexion an einem das fließende Medium begrenzenden Wandbereich des Strömungskanals oder eines innerhalb des Strömungskanals eingebrachten Reflektor unterliegen, durch die ein dem Wandbereich oder dem Reflektor zuordenbares Echo-Ultraschallzeitsignal erzeugt wird,
- Ermitteln wenigstens einer Amplitudenschwellwertfunktion, die zu jedem detektierten Ultraschallzeitsignal einen Amplitudenschwellwert festlegt, unter Berücksichtigung wenigstens des Echo-Ultraschallzeitsignals,
- Erfassen von den einzelnen Ultraschallzeitsignalen zugeordneten Amplitudenwerten, die jeweils größer als ein zu den jeweiligen Ultraschallzeitsignalen festgelegter Amplitudenschwellwert sind, und
- Zuordnen der erfassten Amplitudenwerte zu Werten, die die Größe und Anzahl der partikulären Komponenten beschreiben.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch **gekennzeichnet**, dass das Einkoppeln der Ultraschallwellen in das durch den Strömungskanal fließende Medium mit einer quer oder geneigten zur Strömungsrichtung des fließenden Mediums orientierten Hauptausbreitungsrichtung erfolgt,
dass die sich längs der Hauptausbreitungsrichtung ausbreitenden

Ultraschallwellen orthogonal oder geneigt auf den den Strömungskanal begrenzenden Wandbereich oder auf den innerhalb des Strömungskanals eingebrachten Reflektor auftreffen und reflektiert werden, und dass die Detektion der reflektierten Ultraschallwellenanteile im Bereich oder am Ort des Einkoppelns erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch **gekennzeichnet**, dass zum Ermitteln der Amplitudenschwellwertfunktion wenigstens eine der nachfolgenden physikalischen Eigenschaften berücksichtigt wird:

- Berücksichtigen der Ultraschallfeldverteilung im fließenden Medium,
- Berücksichtigen der akustischen Dämpfung der Ultraschallwellen im fließenden Medium,
- Berücksichtigen der Einkoppelbedingungen der Ultraschallwellen in das fließende Medium.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Erfassen der Amplitudenwerte, die jeweils größer als ein zum jeweiligen Ultraschallzeitsignal festgelegter Amplitudenschwellwert sind, innerhalb eines festzulegenden Auswertezeitbereiches erfolgt, der einem räumlichen Messbereich innerhalb des fließenden Mediums längs der Hauptausbreitungsrichtung entspricht und zwischen dem Ort des Einkoppelns und dem den Strömungskanal begrenzenden Wandbereich oder dem Reflektor liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch **gekennzeichnet**, dass das Einkoppeln der Ultraschallwellen in das fließende Medium derart fokussiert erfolgt, so dass die Ultraschallwellen in einem längs der Hauptausbreitungsrichtung befindlichen Fokuspunkt fokussiert werden, der in Hauptausbreitungsrichtung vor oder nach dem den Strömungskanal begrenzenden Wandbereich oder Reflektor liegt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch **gekennzeichnet**, dass das Zuordnen der erfassten Amplitudenwerte zu Werten, die die Anzahl der partikulären Komponenten innerhalb des fließenden Mediums beschreiben, auf einer Anzahl oder statistischen Häufigkeit basiert, mit der die pro Ultraschallzeitsignal erfassten Amplitudenwerte über einem jeweils durch die Amplitudenschwellwertfunktion für ein Ultraschallzeitsignal festgelegten Amplitudenschwellwert liegen.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch **gekennzeichnet**, dass das Zuordnen der erfassten Amplitudenwerte zu Werten, die die Größe der partikulären Komponenten beschreiben, jeweils auf dem numerischen Betrag des Amplitudenwertes des Ultraschallzeitsignals basiert.

8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch **gekennzeichnet**, dass zum Erhalt absoluter Größenwerte ein Kalibrierungswert oder eine Kalibrierungsfunktion ermittelt wird, durch Erfassen eines Ultraschallzeitsignals, insbesondere dessen Amplitude oder/und dessen Signalform, das durch Reflexion der Ultraschallwellen an einem bekannten Ultraschallreflektor gewonnen wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Amplitudenschwellwertfunktion unter Nutzung des Kalibrierungswertes oder der Kalibrierungsfunktion ermittelt wird.

10. Vorrichtung zur quantitativen Bestimmung von Anzahl und Größe von in einem längs eines Strömungskanals fließenden Medium enthaltenen partikulären Komponenten, bei dem Ultraschallwellen in das fließende Medium einkoppeln, die zumindest teilweise an den partikulären Komponenten

reflektieren und deren reflektierte Ultraschallwellenanteile in Form von Ultraschallzeitsignalen detektierbar und der quantitativen Bestimmung zugrundelegbar sind,
dadurch **gekennzeichnet**, dass zum Zwecke der Ultraschallwelleneinkopplung in das fließende Medium wenigstens ein mit einem Ultraschallwandler akustisch gekoppelter Wellenleiter zumindest abschnittsweise in das fließende Medium eintaucht,
dass der aus einem Wellenleitermaterial bestehende Wellenleiter wenigstens im Bereich, in dem der Wellenleiter in das fließende Medium eintaucht, mit einer äußeren Schicht umgeben ist, so dass die äußere Schicht zwischen dem sonstigen Wellenleitermaterial und dem fließenden Medium angeordnet ist, und
dass die äußere Schicht eine vom sonstigen Wellenleitermaterial abweichende Stoffzusammensetzung besitzt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10,
dadurch **gekennzeichnet**, dass der Wellenleiter einseitig stumpf, spitzzulaufend oder geometrisch bestimmt geformt zur Einkopplung von fokussierten Ultraschallwellen in das fließende Medium endet,
dass der Wellenleiter zumindest abschnittweise endseitig von der äußeren Schicht umgeben ist, deren Stoffzusammensetzung in Abhängigkeit des fließenden Mediums derart gewählt ist, so dass sich die Stoffzusammensetzung in Kontakt mit dem fließenden Medium auflöst.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die Stoffzusammensetzung der äußeren Schicht wenigstens eine die Benetzung des fließenden Mediums an das Wellenleitermaterial hervorrufende und unterstützende Substanz enthält.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Substanz ein Schmelzsalz ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13,
dadurch **gekennzeichnet**, dass die wenigstens eine Substanz von einer Hülle oder einer Matrix aus in dem fließenden Medium schmelzbaren Material umgeben ist.

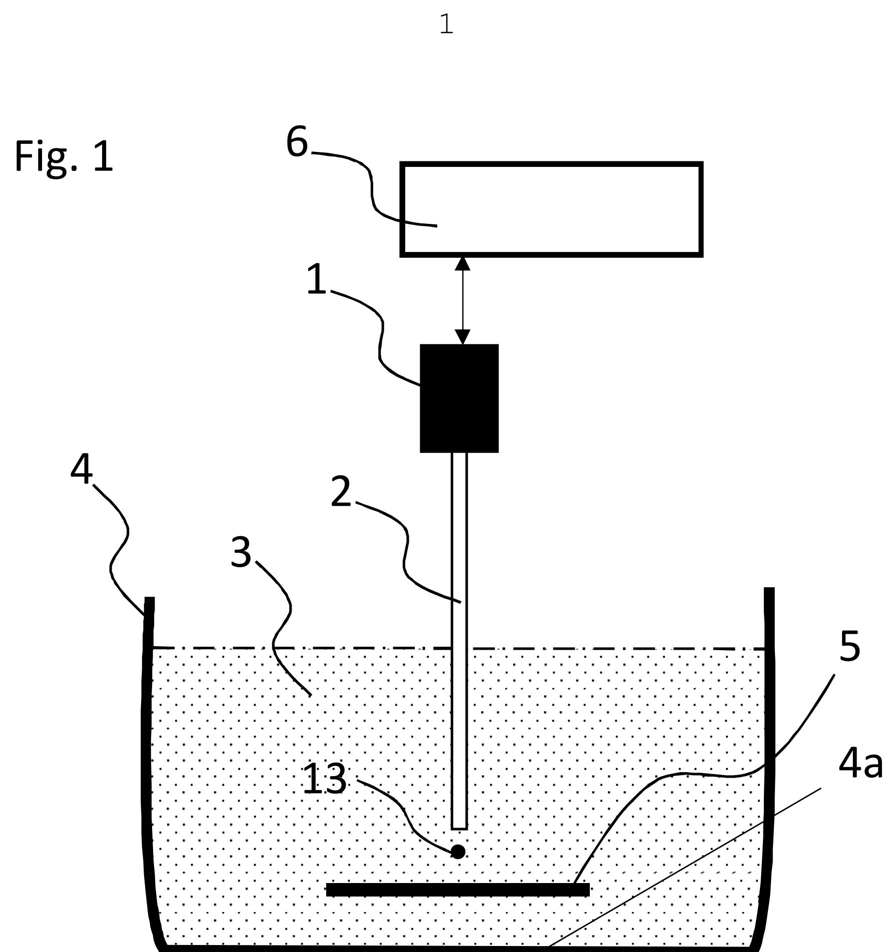
15. Verwendung der Vorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 14 zur Bestimmung der Konzentration von Fremdkörpern in einer Metallschmelze, insbesondere in einer Aluminiumschmelze als fließendes Medium.

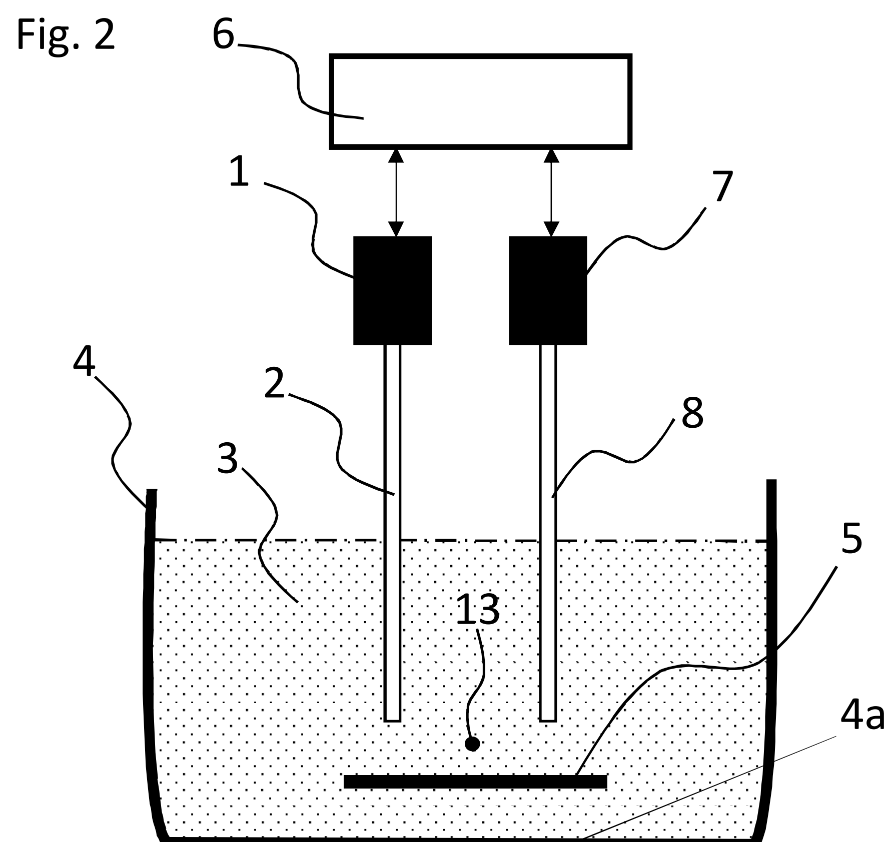
Zusammenfassung

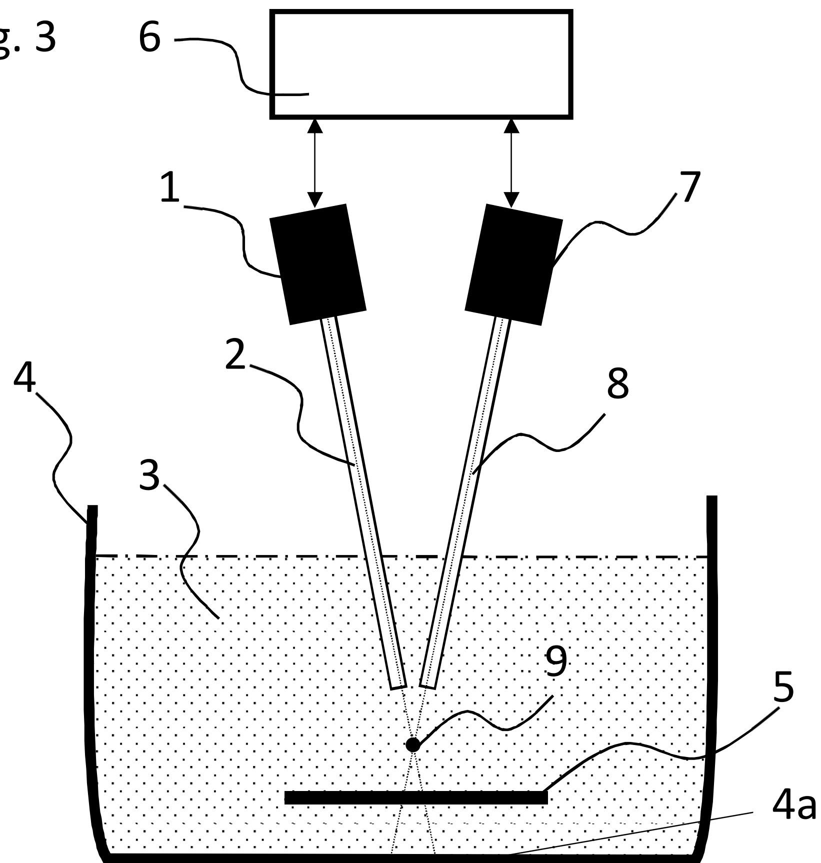
Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur quantitativen Bestimmung von Anzahl und Größe von in einem längs eines Strömungskanals fließenden Medium enthaltenen partikulären Komponenten, bei dem Ultraschallwellen in das fließende Medium einkoppeln, die zumindest teilweise an den partikulären Komponenten reflektieren und deren reflektierte Ultraschallwellenanteile in Form von Ultraschallzeitsignalen detektiert werden, die der quantitativen Bestimmung zugrunde gelegt werden.

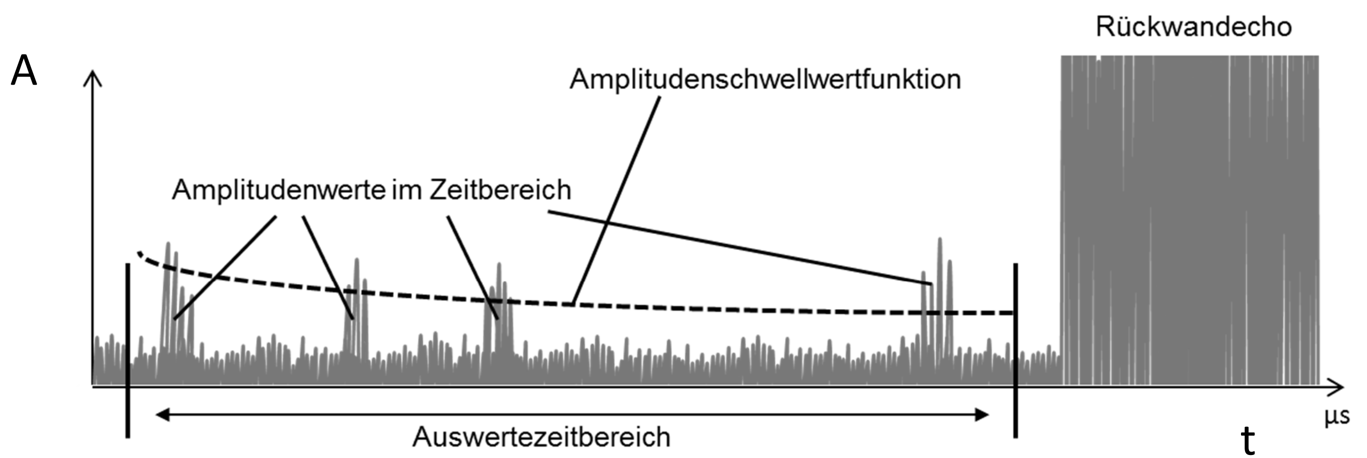
Die Erfindung zeichnet sich durch folgende Verfahrensschritte aus:

- Einkoppeln der Ultraschallwellen in das fließende Medium derart, dass zumindest ein Teil der eingekoppelten Ultraschallwellen einer Reflexion an einem das fließende Medium begrenzenden Wandbereich des Strömungskanals oder eines innerhalb des Strömungskanals eingebrachten Reflektors unterliegen, durch die ein dem Wandbereich oder dem Reflektor zuordenbares Echo-Ultraschallzeitsignal erzeugt wird,
- Ermitteln wenigstens einer Amplitudenschwellwertfunktion, die zu jedem detektierten Ultraschallzeitsignal einen Amplitudenschwellwert festlegt, unter Berücksichtigung wenigstens des Echo-Ultraschallzeitsignals,
- Erfassen von den einzelnen Ultraschallzeitsignalen zugeordneten Amplitudenwerten, die jeweils größer als ein zu den jeweiligen Ultraschallzeitsignalen festgelegter Amplitudenschwellwert sind, und
- Zuordnen der erfassten Amplitudenwerte zu Werten, die die Größe und Anzahl der partikulären Komponenten beschreiben.


Fig. 1
6
1
4
2
3
5
13
4a


Fig. 2
6
1
7
4
2
8
3
5
13
4a


Fig. 3
6
1
7
2
8
4
3
9
5
4a


Fig. 4
A
Rückwandecho
Amplitudenschwellwertfunktion
Amplitudenwerte im Zeitbereich
Auswertezeitbereich
µs
t

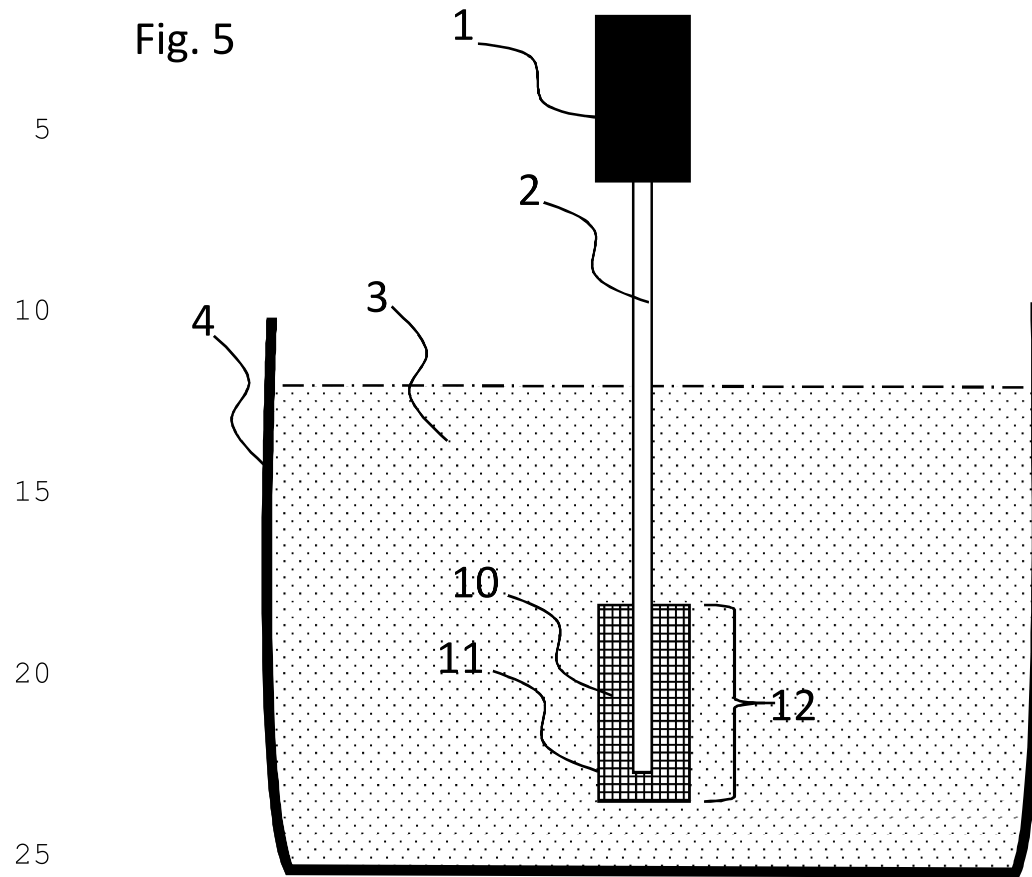


Fig. 5